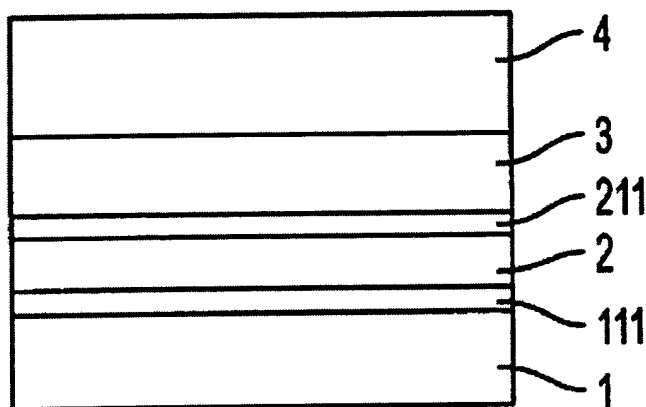
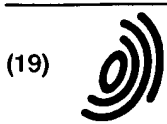


## Abstract of EP1014431

Relaxed epitaxial layer production comprises hydrogen-containing interlayer formation, strained epitaxial layer growth and thermal relaxation.

Relaxed epitaxial layer production on a semiconductor substrate, especially by molecular beam epitaxy using a hydrogen source, comprises forming a hydrogen-containing interlayer (11-13) on or near the substrate surface, growing a strained epitaxial layer and thermally relaxing the layer. An Independent claim is also included for a layer sequence produced by the above process, comprising a silicon substrate (1) with a hydrogen-containing interlayer (11-13), a first relaxed epitaxial Si<sub>1-x</sub>Gex (x = 0.1 to 0.3) buffer layer, a second relaxed epitaxial Si<sub>1-x</sub>Gex (x = 0.3 to 0.5) buffer layer and a Si<sub>1-x</sub>Gex device structure.





Europäisches Patentamt

European Patent Office

Office européen des brevets



(11)

**EP 1 014 431 A2**

(12)

**EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:  
28.06.2000 Patentblatt 2000/26

(51) Int. Cl.<sup>7</sup>: **H01L 21/203**, C30B 23/02

(21) Anmeldenummer: 99124785.9

(22) Anmeldetag: 14.12.1999

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
**AT BE CH CY DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU  
MC NL PT SE**  
Benannte Erstreckungsstaaten:  
**AL LT LV MK RO SI**

(71) Anmelder: **DaimlerChrysler AG**  
**70567 Stuttgart (DE)**

(72) Erfinder:  
• **Kibbel, Horst**  
**89155 Erbach (DE)**  
• **Kuchenbecker, Jessica**  
**89075 Ulm (DE)**

(30) Priorität: 22.12.1998 DE 19859429

**(54) Verfahren zur Herstellung epitaktischer Silizium-Germaniumschichten**

(57) Die Erfindung beschreibt ein Verfahren zur Herstellung von relaxierten Epitaxieschichten auf einem Halbleitersubstrat mittels Molekularstrahlepitaxie mit einer Wasserstoffquelle, indem in einer in situ Prozeßfolge

- an oder nahe der Substratoberfläche eine wasserstoffhaltige Zwischenschicht deponiert oder eingebracht wird,
- darauf eine verspannte Epitaxieschicht aufgewachsen wird und
- die Epitaxieschicht mittels einer Temperaturbehandlung relaxiert wird.

**EP 1 014 431 A2**

## Beschreibung

[0001] Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zur Herstellung von gitterangepaßten Silizium-Germaniumschichten nach dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1 und auf eine Schichtenfolge nach Patentanspruch 14.

[0002] Viele Hochfrequenzbauelemente auf der Basis des Materialsystems SiGe/Si erfordern ein Substrat, dessen Gitterkonstante zwischen der des reinen Siliziums und der des reinen Germaniums angepaßt werden kann. Die Gitterfehlpassung in diesem Materialsystem beträgt, bezogen auf Si, für reines Germanium 4,2%. Wird eine Mischkristallschicht der Zusammensetzung  $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$  - wobei x den Anteil von Germanium angibt - auf einem Siliziumsubstrat epitaktisch einkristallin abgeschieden, kommt es zunächst zur elastischen Verspannung in der wachsenden  $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ -Schicht (Fig. 1a), welche nach Überschreiten der sog. kritischen Schichtdicke durch Bildung von Fehlpassungsversetzungen bevorzugt in der Nähe der Grenzfläche abgebaut wird (Fig. 1b). Die kritische Schichtdicke ist abhängig von der Germaniumkonzentration x und der Wachstumstemperatur. Die parallel zur Grenzschicht verlaufenden Fehlpassungsversetzungen werden begleitet von einer hohen Anzahl von Versetzungen, die die  $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ -Pufferschicht von der Grenzfläche SiGe/Si bis zur Oberfläche der epitaktischen Schicht durchsetzen (Fig. 2). Die in der Figur bis an die Oberfläche reichenden fadenförmigen Versetzungen - im wissenschaftlichen Sprachgebrauch werden diese Versetzungen als „Threading“-Versetzungen bezeichnet - beeinträchtigen die Funktion der aktiven Bauelementschichten und sind daher möglichst zu unterdrücken.

Derart qualitativ hochwertige einkristalline, gitterangepaßte SiGe-Schichten werden auf gebräuchlichem Siliziumsubstrat als künstliche Substrate mittels Molekularstrahlepitaxie oder mittels Abscheidung aus einer reaktiven Gasphase (CVD-Verfahren) je nach Schichtdicke auf folgende Weise realisiert:

a) Für dicke Puffer im Bereich einer Schichtdicke von mehr als 1  $\mu\text{m}$  wird der Germaniumgehalt während des Wachstums kontinuierlich oder in Stufen erhöht; wobei eine Zunahme des Germaniumgehaltes von beispielsweise 10% pro  $\mu\text{m}$  SiGe-Schichtdicke zugrunde gelegt wird. In der Regel wird die Wachstumstemperatur zur Unterdrückung dreidimensionalen Wachstums mit steigendem Germaniumgehalt reduziert.

Bei dieser Lösung erfolgt die Gitteranpassung zwischen dem Siliziumsubstrat und der wachsenden SiGe-Schicht durch spannungsgetriebene Anpassungsversetzungen in der wachsenden SiGe-Schicht während des Wachstums (F. Schäffler, Semicond. Sci. Technol., 12, 1515 (1997) und T. Hackbarth, H. Kibbel, M. Glueck, G. Hoeck, H. -J.

Herzog, Thin Solid Films, 321 (1998), 136-140).

Der Nachteil bei dieser Methode besteht darin, daß erst bei besonders großen Schichtdicken der benötigte Germaniumgehalt als Endkonzentration der als Pufferschicht wirkende SiGe-Schicht für elektronische Bauelemente erzielbar ist. Aufgrund der Schichtdicke ergeben sich auf einem gemeinsamen Wafer beispielsweise mit Siliziumbauelementen Höhendifferenzen, die mit der modernen Integrationstechnik unvereinbar sind oder zumindest Schwierigkeiten bei der Hochintegration bereiten.

Ferner ist die Oberflächentopographie dieser dicken, bei hohen Temperaturen gewachsenen SiGe-Pufferschichten für nachfolgende Strukturen mit dünnen Einzelschichten bereits nachteilig, da die Verwerfungen der Oberflächenstruktur in vertikal vergleichbarer Dimension der aktiven Bauelementschichten sein können.

b) Für dünne Pufferschichten im Bereich einer Schichtdicke von weniger als 1  $\mu\text{m}$  wird eine verspannte, nicht gitterangepaßte SiGe-Pufferschicht mit konstantem oder auch gradiertem Germaniumgehalt epitaktisch abgeschieden, welche nachträglich mit Wasserstoffatomen implantiert und durch einen anschließenden Temperprozeß unter Schutzgas relaxiert wird. Dosis und Energie des Wasserstoffs werden so gewählt, daß das Maximum der Wasserstoffkonzentration noch innerhalb des Siliziumsubstrats, jedoch relativ nahe der Grenzschicht zur SiGe-Pufferschicht liegt. Der anschließende Temperprozeß, der bei Temperaturen im Bereich von 800°C erfolgt, führt dann zu einer Gitteranpassung infolge der Ausbildung von Anpassungsversetzungen, die überwiegend in der dünnen Siliziumschicht zwischen der Grenzschicht und dem Maximum der Wasserstoffkonzentration verlaufen (S. Mantl, B. Holländer, R. Liedke, 5. Mesters, H.- J. Herzog, H. Kibbel, T. Hackbarth, Thin Solid Films, im Druck befindlich, publiziert auf EMRS, Straßburg 1998).

[0003] Diese Lösung besitzt Nachteile, indem eine üblicherweise außerhalb der Epitaxieanlage - ex situ - erfolgende Implantation mit relativ hohen Energien in Verbindung mit einem nachfolgenden Temperprozeß zur Relaxation erforderlich ist. Erst danach kann auf der relaxierten SiGe-Schicht die eigentliche Bauelementstruktur gewachsen werden. Der Transfer des Wafers nach der 1. Stufe der Epitaxie außerhalb der Anlage, um die Implantation und Temperung durchzuführen, erschwert die Fortführung der nachfolgenden Epitaxie durch eine erneut erforderliche Vorpräparation des Wafers. Die Implantation von Wasserstoff birgt ferner die Gefahr von Kristallschäden an der Oberfläche bzw. im Volumen, die nicht vor der Relaxation des SiGe-Puffers durch eine thermische Behandlung ausgeheilt wer-

den können, weil dadurch auch der implantierte Wasserstoff durch Diffusion ins Volumen verdünnt wird und seine relaxationsunterstützende Eigenschaft verliert.

Sollte zudem die erforderliche Germanium-Endkonzentration nicht in einer Abfolge der Schritte Epitaxie, H-Implantation und Temperung erreicht werden können, müßte die vorgenannte Prozedur mehrstufig durchgeführt werden. Dies ginge dann durch die erforderliche mehrfache Vorpräparation auf Kosten der Kristallqualität.

[0004] Ferner ist ein wesentlich höheres Temperaturbudget zur Relaxation erforderlich, das in Kombination mit dem vorhandenen Wasserstoff zu einer höheren Diffusion in bereits vorhandenen Bauelementstrukturen führen kann. Außerdem verursacht die erforderliche Implantationsanlage zusätzliche und durch die Komplexität derartiger Anlagen bedingte hohe Kosten.

[0005] Neben der Molekularstrahlepitaxie ist auch eine Abscheidung epitaktischer Schichten aus einer chemisch reaktiven Gasphase (CVD-Verfahren) gebräuchlich und aufgrund wirtschaftlicher Vorteile weit verbreitet. Allerdings stellt die Schichtabscheidung mittels CVD im Regelfall nicht die Variabilität der Prozeßführung zur Verfügung, die in Grenzbereichen kinetisch gesteuerter Oberflächenreaktionen erforderlich wäre, um eine besonders gute Schichtqualität zu erzielen. Meist muß bei dieser Methode unerwünscht in einem erheblich höheren Temperaturbereich gearbeitet werden.

[0006] So ist beispielsweise aus den Schriften EP 0 746 011 A2 und EP 0 493 278 A1 eine Oberflächenreinigung eines Halbleitermaterials unter Verwendung von wasserstoffhaltigem Plasma bekannt, mit der eine auf einem Siliziumsubstrat befindliche natürliche Oxidschicht vor einem Depositionsprozeß abgetragen wird. Die derart gereinigte Siliziumoberfläche wird dann aus einer im wesentlichen monoatomaren Wasserstoffbelegung bedeckt. Üblicherweise liegen sowohl beim Reinigungsprozeß wie auch bei der nachfolgenden Schichtabscheidung die Temperaturen bei ca. 800°C, gelegentlich sogar im Bereich von 1000°C und darüber. Derart hohe Temperaturen und die kinetische Reaktion der Gasphase mit der Substratoberfläche führt immer dazu, daß im Stadium der Schichtabscheidung eine mehr oder weniger geschlossene Wasserstoffoberfläche durch eine chemische Reaktion mit der schichtbildenden Spezies ersetzt wird und die dann mit der sich neu bildenden Schichtoberfläche im Wachstum fortschreitet.

Bei derartigen Wachstumsbedingungen erscheint jedoch ein gezieltes Einbringen von Wasserstoff in einen eng begrenzten Bereich einer Schichtfläche prozeßtechnisch geradezu unmöglich.

[0007] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zur Herstellung und eine Schichtenfolge anzugeben, mit der dünne, gitterangepaßte Halbleiterschichten mit geringer Versetzungsdichte an der Ober-

fläche hergestellt werden können.

[0008] Die Erfindung wird in Bezug auf das Verfahren durch die Merkmale des Patentanspruchs 1 und in Bezug auf die Schichtenfolge durch die Merkmale des Patentanspruchs 14 wiedergegeben. Die weiteren Ansprüche enthalten vorteilhafte Aus- und Weiterbildungen der Erfindung.

[0009] Die Erfindung beinhaltet ein Verfahren zur Herstellung von relaxierten Epitaxieschichten auf einem Halbleitersubstrat mittels eines Epitaxieverfahrens, insbesondere der Molekularstrahlepitaxie, in Verbindung mit einer Wasserstoffquelle in einer *in situ* Prozeßfolge. Hierzu wird auf dem Substrat eine wasserstoffhaltige Zwischenschicht deponiert oder in ein Substrat eine Diffusionsschicht eingebracht, die an oder nahe der Oberfläche liegt. Auf die Zwischenschicht wird eine gespannte Epitaxieschicht aufgewachsen, die anschließend mittels einer Temperaturbehandlung bei vergleichsweise niedriger Temperatur relaxiert wird.

Die Herstellung der Zwischenschicht kann auf drei unterschiedliche Weisen erfolgen (Fig. 3 a-c).

1) Die Diffusionsschicht wird durch thermische und/oder plasmaunterstützte Eindiffusion von Wasserstoff in die Substratoberfläche eingebracht, wobei die Konzentration des eindiffundierten Wasserstoffs an der Substratoberfläche eine maximale Konzentration der Größenordnung  $10^{19}$  bis  $10^{21}$   $\text{cm}^{-3}$  erreicht.

2) Die Zwischenschicht wird durch reaktive Epitaxie bei einer Temperatur von max. 500°C unter Wasserstoffbeimischung mit hoher Konzentration in einer Dicke zwischen einigen Atomlagen bis 10 nm abgeschieden. Dabei erreicht die Konzentration des Wasserstoffs in der Schicht die Größenordnung von  $10^{13}$  bis  $10^{14}$   $\text{cm}^{-2}$  (bzw.  $10^{19}$  bis  $10^{21}$   $\text{cm}^{-3}$ ).

3) Die Zwischenschicht wird aus einer monoatomaren Belegung der Substratoberfläche mit einer Konzentration der Größenordnung  $10^{14}$  bis  $10^{15}$   $\text{cm}^{-2}$  unter Bildung von Si-H-Bindungen hergestellt.

Bei allen drei Varianten findet die Temperaturbehandlung im Bereich von 450 bis 650 °C statt.

Als Wasserstoffquelle werden in einer Molekularstrahlepitaxieanlage vorzugsweise Niederenergieplasma oder  $\text{H}/\text{H}_2$  Molekularstrahlquellen verwendet.

[0010] Das Halbleitersubstrat besteht entweder aus Silizium oder aus einer beliebigen SiGe-Legierung. Die Legierung kann auch auf einem ursprünglichen Siliziumsubstrat aufgewachsen werden und im weiteren Verlauf der Prozeßfolge die Funktion eines neuen Substrates für die darauffolgenden Schichten übernehmen. Auf diese Weise können bei der *in situ* Prozeßfolge auch mehrere relaxierte Epitaxieschichten - sogar bis zu einem Germaniumgehalt von  $x = 1$  - aufeinanderfolgend abgeschieden werden. Als oberste Epitaxie-

schicht folgt dann eine weitere Pufferschicht oder eine zur Bauteilherstellung benötigte Schicht.

**[0011]** Ein besonderer Vorteil der Erfindung besteht darin, daß der erfindungsgemäße Herstellungsprozeß die Möglichkeit bietet, die komplette vertikale Schichtstruktur ohne Unterbrechung des Vakuums in situ zu realisieren, die eine weitgehende Unterdrückung von an die Oberfläche laufenden Threading-Versetzungen gewährleisten; sogar eine mehrstufige Abfolge relaxierter Schichten ist problemlos ohne Transport an Atmosphäre möglich.

**[0012]** Ein weiterer besonderer Vorteil besteht im geringen thermischen Budget der Temperung. Gegebenenfalls können dadurch sogar eine partielle Positionierung der gitterangepaßten SiGe-Pufferschichten bei der Prozessierung von bereits auf einem Substrat vorhandenen Bauelementstrukturen in Silizium-Technologie durchgeführt werden. Derart verträglichen Prozeßbedingungen bleiben, vor allem durch das niedrige Temperaturbudget bedingt, ohne negative Folgen für die bereits auf einem Substrat vorhandenen Strukturen.

**[0013]** Im folgenden wird die Erfindung anhand von vorteilhaften Ausführungsbeispielen unter Bezugnahme auf schematische Zeichnungen in den Figuren näher erläutert. Es zeigen:

- Fig. 1 a Atomgitter einer epitaktisch abgeschiedenen  $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ -Schicht auf einkristallinem Silizium - elastische Verspannung - (Stand der Technik),
- Fig. 1 b Atomgitter einer epitaktisch abgeschiedenen  $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ -Schicht auf einkristallinem Silizium unter Bildung von Fehlpassungsversetzungen in der Nähe der Grenzfläche - Spannungsrelaxation - (Stand der Technik),
- Fig. 2 Schematische Darstellung der Ausbildung und Verlauf von fadenförmigen Threading-Versetzungen und Fehlpassungsversetzungen im Kristallvolumen (Stand der Technik),
- Fig. 3 a) Oberflächennahe Wasserstoffdeposition im Substrat  
b) Wasserstoffdeposition durch reaktive, epitaktische Schichtabscheidung auf dem Substrat  
c) Oberflächliche Wasserstoffdeposition auf der Substratoberfläche,
- Fig. 4 Schichtenfolge mehrerer aufeinanderfolgend abgeschiedener relaxierter Epitaxieschichten mit weiterer Deckschicht,
- Fig. 5 Konzentrationsverlauf von eindiffundiertem Wasserstoff mit Maximalwert an der Substratoberfläche,
- Fig. 6 Rocking-Kurve von Schichtenfolgen, die bei unterschiedlichen Temperaturen prozessiert wurden; Messung des Spannungsabbaus durch

Gitterkonstantenänderung der Epitaxieschicht.

**[0014]** In einem ersten Ausführungsbeispiel wird nach Fig. 4 erfindungsgemäß die weitgehende Unterdrückung der an die Schichtoberfläche laufenden Threading-Versetzungen bei dünnen Puffern mit einer Schichtdicke unter  $1\ \mu\text{m}$  durch eine 2-stufigen Vorbehandlung, Wachstum und Zwischenbehandlung der von Siliziumsubstrat und als Epitaxieschicht ausgebildete SiGe-Pufferschicht erreicht. Dabei wird in einem ersten Prozeßschritt die später zu bewachsende Fläche des Substrats 1 einer Wasserstoffquelle dergestalt ausgesetzt, daß der Wasserstoff oberflächennah in das Kristallvolumen eindiffundiert wird. Das zugehörige erste Diffusionsprofil 11 ist in Fig. 5 im Konzentrationsverlauf beispielhaft für eine plasmaunterstützte Eindiffusion dargestellt, bei dem der Maximalwert an der Substratoberfläche liegt. Oberflächennah können Wasserstoffkonzentrationen im Bereich von  $10^{20}\ \text{cm}^{-3}$  erreicht werden.

**[0015]** In einem folgenden Prozeßschritt wird eine erste  $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ -Pufferschicht 2 mit z.B.  $x = 0,2$  und  $150\text{nm}$  Dicke aufgewachsen. Dies erfolgt bei einer Wachstumstemperatur von beispielsweise  $550^\circ\text{C}$  mit Wachstumsraten von ca.  $0,3\text{nm/s}$ .

Danach wird in situ das Siliziumsubstrat 1 mit der ersten  $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ -Pufferschicht 2 auf  $590^\circ\text{C}$  erhitzt, wodurch die  $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ -Pufferschicht 2 durch Bildung von vorwiegend Misfit-Versetzungen relaxiert. Die Ausbildung der Versetzungen verläuft entlang einer ersten wasserstoffhaltigen Grenzfläche 111 von Substrat und Epitaxieschicht. Einen Überblick des Relaxationsprozesses in Abhängigkeit von der Temperatur im Bereich von  $530$  bis  $590^\circ\text{C}$  ist aus Fig. 6 in Form einer Rocking-Kurve zu entnehmen. Bei den in der Figur dargestellten Meßkurven wird der Spannungsabbau durch Gitterkonstantenänderung der Epitaxieschicht erfaßt. Damit ist die erste  $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ -Pufferschicht 2 nun thermisch stabil, der deponierte Wasserstoff ist nach der Temperung durch Diffusion an die Oberfläche und das Volumen durch Verdünnung wirkungslos.

Bei einem weiteren Prozeßschritt wird der bisherige Schichtstapel erneut der Wasserstoffdiffusion ausgesetzt, um wiederum ein in Fig. 4 dargestelltes zweites Diffusionsprofil 21 zu erzeugen.

Danach wird eine zweite  $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ -Pufferschicht 3 mit z.B.  $x = 0,4$  und  $150\text{nm}$  Dicke aufgewachsen. Die relative Erhöhung der Germaniumkonzentration bezüglich der ersten Pufferschicht 2 beträgt wiederum  $0,2$ . Dieses erfolgt wieder bei einer Wachstumstemperatur von beispielsweise  $550^\circ\text{C}$  mit Wachstumsraten von ca.  $0,3\text{nm/s}$ .

Beim darauffolgenden Prozeßschritt wird der Schichtstapel erneut bei  $590^\circ\text{C}$  in situ unter Bildung einer erneuten thermisch stabilen zweiten Pufferschicht 3 getempert. Wiederum ist der deponierte Wasserstoff unter Ausbildung der zweiten wasserstoffhaltigen

Grenzfläche 211 nach der Temperung durch Diffusion an die Oberfläche und das Volumen durch Verdünnung wirkungslos. Damit sind die Voraussetzungen für eine nachfolgende Abscheidung einer vertikalen Bauelementstruktur 4 geschaffen, die unmittelbar danach abgeschieden wird.

Der Wasserstoffdiffusionsprozeß findet bei allen Prozeßschritten vorzugsweise in der Wachstumskammer selbst oder in einer unmittelbar mit dieser verbundenen Präparationskammer statt.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung von relaxierten Epitaxieschichten auf einem Halbleitersubstrat mittels eines Epitaxieverfahrens, insbesondere der Molekularstrahlepitaxie, mit einer Wasserstoffquelle, dadurch gekennzeichnet, daß in einer in situ Prozeßfolge

- an oder nahe der Substratoberfläche eine wasserstoffhaltige Zwischenschicht (11, 12, 13) deponiert oder eingebracht wird,
- darauf eine verspannte Epitaxieschicht aufgewachsen wird und
- die Epitaxieschicht mittels einer Temperaturbehandlung relaxiert wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß eine Diffusionsschicht (11) durch thermische und/oder plasmaunterstützte Eindiffusion von Wasserstoff in die Substratoberfläche (1) eingebracht wird.

3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Konzentration des eindiffundierten Wasserstoffs an der Substratoberfläche eine maximale Konzentration der Größenordnung  $10^{19}$  bis  $10^{21} \text{ cm}^{-3}$  erreicht.

4. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß durch reaktive Epitaxie unter Wasserstoffbeimischung eine dünne Zwischenschicht (12) mit hoher Wasserstoffkonzentration deponiert wird.

5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Zwischenschicht (12) mit einer Dicke zwischen einigen Atomlagen bis 10 nm abgeschieden wird.

6. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Konzentration des Wasserstoffs in der Schicht die Größenordnung  $10^{13}$  bis  $10^{14} \text{ cm}^{-2}$  (bzw.  $10^{19}$  bis  $10^{21} \text{ cm}^{-3}$ ) erreicht.

7. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Zwischenschicht (13) aus einer monoatomaren Belegung der Substratoberfläche

hergestellt wird.

8. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß die monoatomare Belegung eine Konzentration der Größenordnung  $10^{14}$  bis  $10^{15} \text{ cm}^{-2}$  erreicht.

9. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Temperaturbehandlung im Bereich von 450 bis 650 °C stattfindet.

10. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß bei der Abscheidung der wasserstoffhaltigen Zwischenschicht als Wasserstoffquelle vorzugsweise Niederenergieplasma oder  $\text{H}/\text{H}_2$  Molekularstrahlquellen verwendet werden.

11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Halbleitersubstrat (1) aus Silizium oder aus einer beliebigen SiGe-Legierung besteht.

12. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß bei der in situ Prozeßfolge mehrere relaxierte Epitaxieschichten aufeinanderfolgend abgeschieden werden.

13. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß auf die oberste Epitaxieschicht eine Bauelementstruktur (4) epitaktisch aufgewachsen wird.

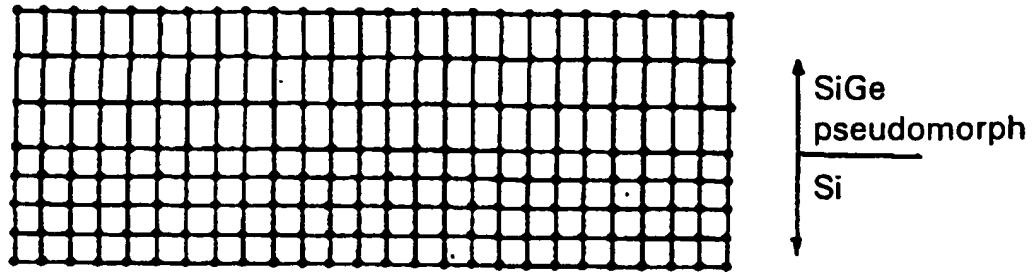
14. Schichtenfolge, hergestellt nach einem der Ansprüche 1 bis 13, bestehend aus:

- einem Substrat (1) aus Silizium mit auf oder eingebrachter wasserstoffhaltigen Zwischenschicht (111) und aufeinanderfolgend,
- einer relaxierten  $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ -Epitaxieschicht der Konzentration  $x = 0,1$  bis  $0,3$  als erste Pufferschicht mit auf oder eingebrachter wasserstoffhaltiger Zwischenschicht (211),
- eine  $\text{Si}_x\text{Ge}_{1-x}$ -relaxierte Epitaxieschicht der Konzentration  $x = 0,3$  bis  $0,5$  als zweite Pufferschicht (3) und
- einer  $\text{Si}_x\text{Ge}_{1-x}$  Bauelementstruktur (4).

15. Schichtenfolge nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, daß nach der zweiten Pufferschicht (3) weitere relaxierte  $\text{Si}_x\text{Ge}_{1-x}$ -Epitaxieschicht mit ansteigender Germaniumkonzentration bis zu maximal  $x = 1$  abgeschieden sind und zuletzt die Bauelementstruktur (4) folgt.

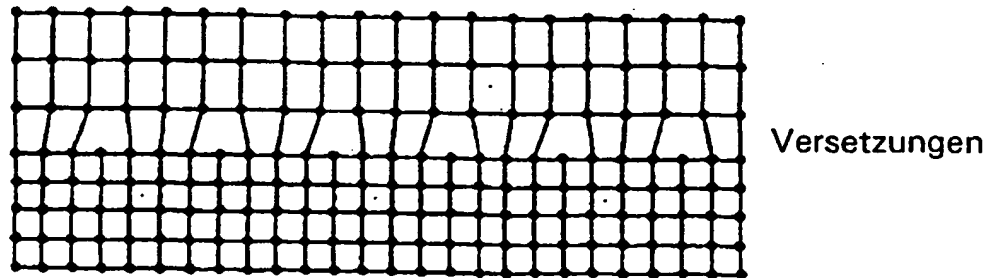
FIG.1

a)



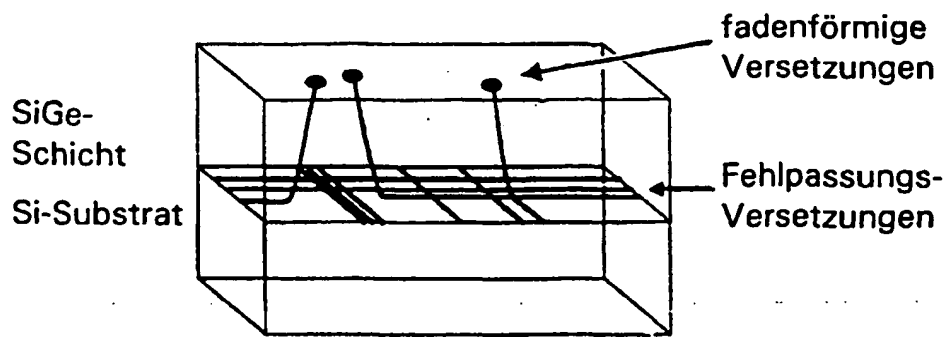
(Stand der Technik)

b)



(Stand der Technik)

FIG.2



(Stand der Technik)

FIG.3

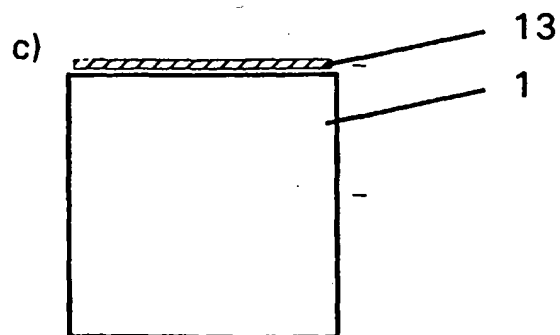
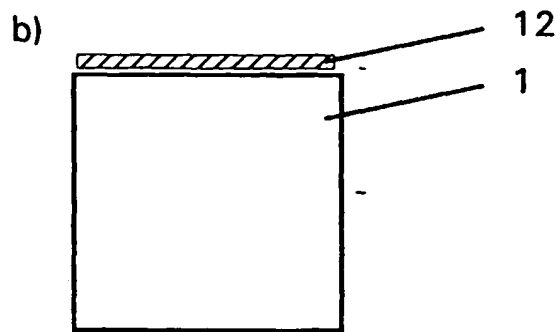
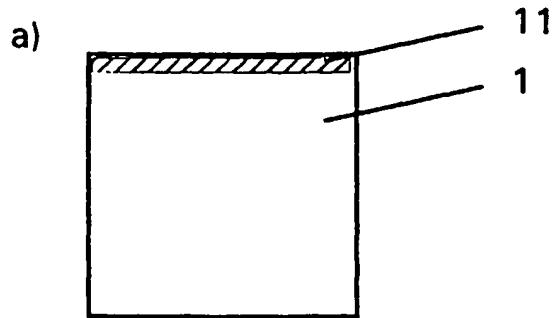




FIG.4.

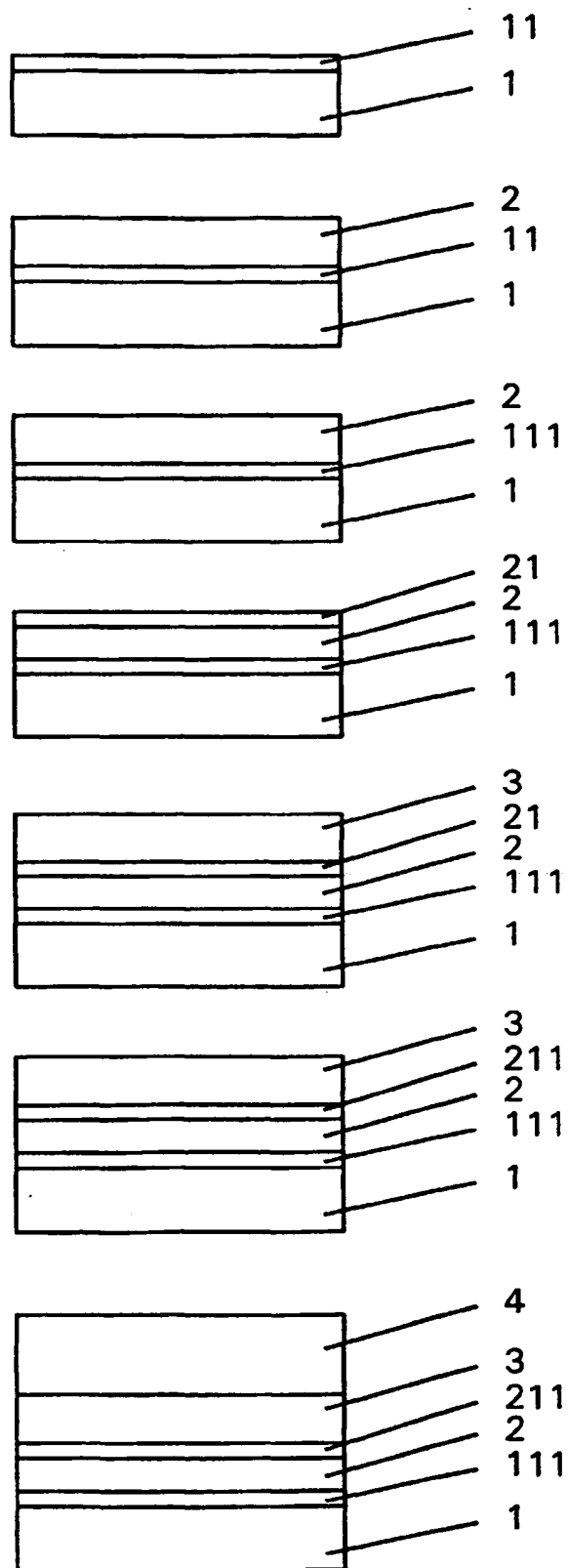


FIG.5

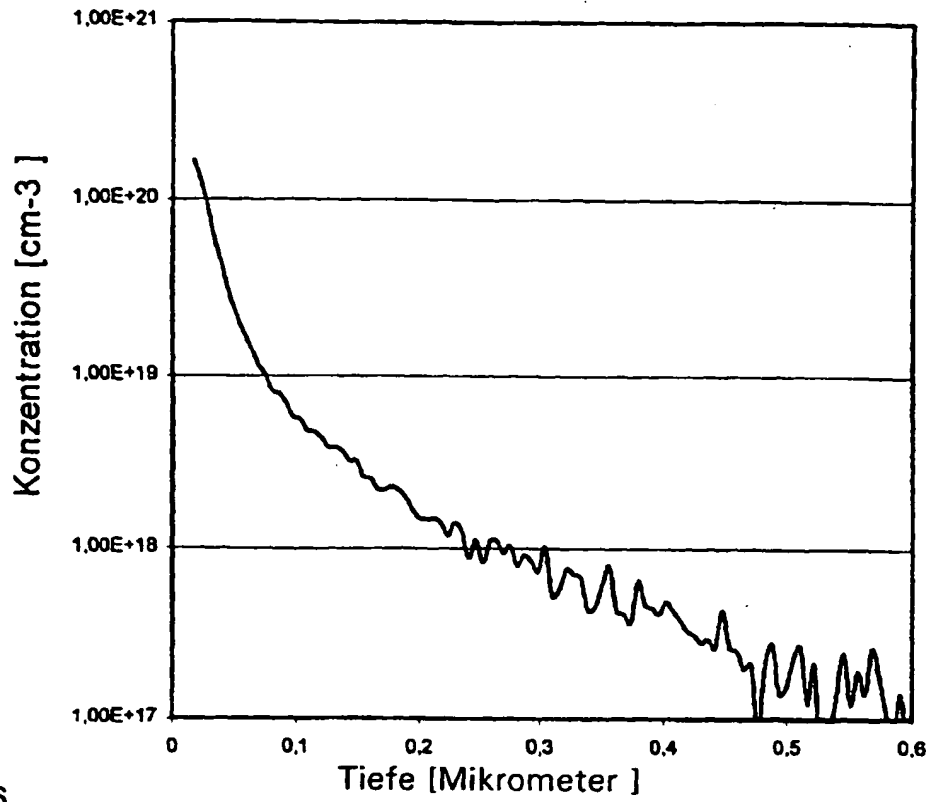
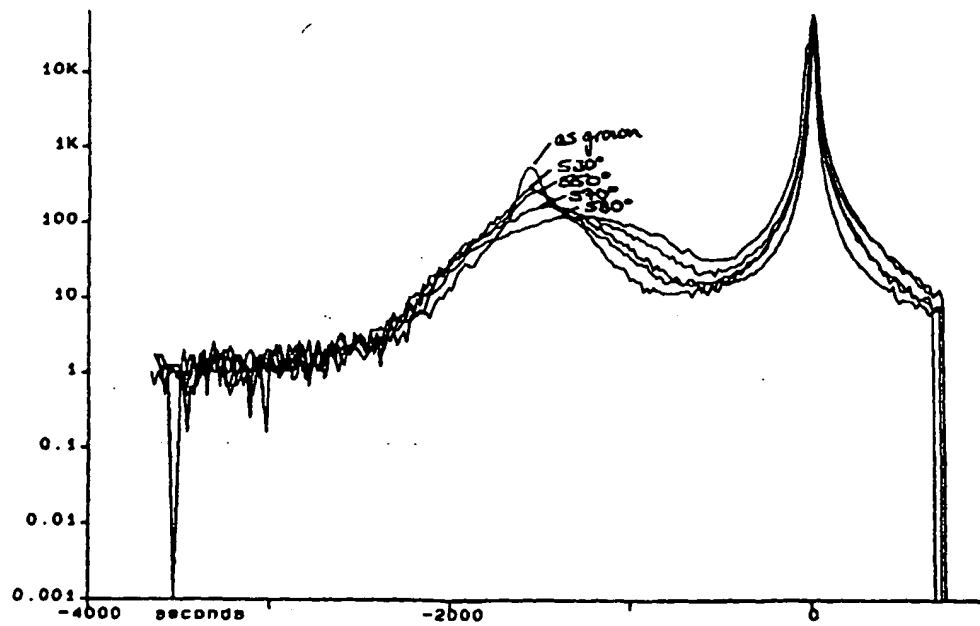
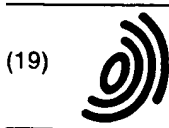


FIG.6





Europäisches Patentamt  
European Patent Office  
Office européen des brevets



(11) **EP 1 014 431 A3**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(88) Veröffentlichungstag A3:  
23.01.2002 Patentblatt 2002/04

(51) Int Cl.7: **H01L 21/203, C30B 23/02**

(43) Veröffentlichungstag A2:  
28.06.2000 Patentblatt 2000/26

(21) Anmeldenummer: **99124785.9**

(22) Anmeldetag: **14.12.1999**

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
**AT BE CH CY DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU  
MC NL PT SE**  
Benannte Erstreckungsstaaten:  
**AL LT LV MK RO SI**

(71) Anmelder: **DaimlerChrysler AG**  
**70567 Stuttgart (DE)**

(72) Erfinder:  
• **Kibbel, Horst**  
**89155 Erbach (DE)**  
• **Kuchenbecker, Jessica**  
**89075 Ulm (DE)**

(30) Priorität: **22.12.1998 DE 19859429**

(54) **Verfahren zur Herstellung epitaktischer Silizium-Germaniumschichten**

(57) Die Erfindung beschreibt ein Verfahren zur Herstellung von relaxierten Epitaxieschichten (2) aus vorzugsweise Silizium-Germanium auf einem Halbleiter-substrat (1) mittels Molekularstrahlepitaxie mit einer Wasserstoffquelle, indem in einer in situ Prozeßfolge

- an oder nahe der Substratoberfläche eine wasserstoffhaltige Zwischenschicht (11,12,13) deponiert

- oder eingebracht wird,
- darauf eine verspannte Epitaxieschicht (2) aufgewachsen wird und
- die Epitaxieschicht mittels einer Temperaturbehandlung relaxiert wird.

**EP 1 014 431 A3**



Europäisches  
Patentamt

## EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung  
EP 99 12 4785

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int.Cl.7)
P,X	DE 198 02 977 A (KERNFORSCHUNGSANLAGE JUELICH) 29. Juli 1999 (1999-07-29) * Zusammenfassung *	1	H01L21/203 C30B23/02
A	US 4 529 455 A (BEAN JOHN C ET AL) 16. Juli 1985 (1985-07-16) * Spalte 4, Zeile 23 - Zeile 54 *	1-15	
A	US 5 442 205 A (BRASEN DANIEL ET AL) 15. August 1995 (1995-08-15) * Beispiel 2 *	1-15	
A	US 5 273 930 A (STEELE JOHN W ET AL) 28. Dezember 1993 (1993-12-28) * Spalte 3, Zeile 30 - Spalte 4, Zeile 46 *	1-13	
A	EP 0 113 983 A (FUJITSU LTD) 25. Juli 1984 (1984-07-25) * Seite 4, Zeile 14 - Zeile 21 *	1-13	
D,A	EP 0 746 011 A (SHINETSU HANDOTAI KK) 4. Dezember 1996 (1996-12-04) * Spalte 3, Zeile 28 - Zeile 31 *	7	RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (Int.Cl.7) H01L C30B
D,A	HACKBARTH T ET AL: "Artificial substrates for n- and p-type SiGe heterostructure field-effect transistors" PREPARATION AND CHARACTERIZATION, ELSEVIER SEQUOIA, NL, Bd. 321, Nr. 1-2, 26. Mai 1998 (1998-05-26), Seiten 136-140, XP004147909 ISSN: 0040-6090 * Seite 137, linke Spalte, Absatz 2 - Seite 138, linke Spalte, Absatz 1 *	14,15	
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort BERLIN		Abschlußdatum der Recherche 28. November 2001	Prüfer Le Meur, M-A
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : mündliche Offenbarung P : Zwischenliteratur T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument A : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument			

EPO FORM 1503 03.92 (904003)

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT  
ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 99 12 4785

In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentdokumente angegeben.  
Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am 28-11-2001.  
Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

28-11-2001

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 19802977 A	29-07-1999	DE 19802977 A1	29-07-1999
		WO 9938201 A1	29-07-1999
		EP 1051740 A1	15-11-2000
US 4529455 A	16-07-1985	JP 1867465 C	26-08-1994
		JP 5062452 B	08-09-1993
		JP 60111412 A	17-06-1985
		US 4861393 A	29-08-1989
US 5442205 A	15-08-1995	US 5221413 A	22-06-1993
		EP 0514018 A2	19-11-1992
		JP 2792785 B2	03-09-1998
		JP 6252046 A	09-09-1994
US 5273930 A	28-12-1993	KEINE	
EP 0113983 A	25-07-1984	JP 59110111 A	26-06-1984
		JP 59123226 A	17-07-1984
		DE 3371140 D1	27-05-1987
		DE 3381302 D1	12-04-1990
		EP 0113983 A1	25-07-1984
		EP 0208851 A1	21-01-1987
		US 4477311 A	16-10-1984
EP 0746011 A	04-12-1996	JP 3169114 B2	21-05-2001
		JP 8330233 A	13-12-1996
		EP 0746011 A2	04-12-1996
		US 5846321 A	08-12-1998

EPO FORM P0461

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82